Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 2, May.-Jun., 2025, p. 147-164

Nano-encapsulation of Red Beetroot Extract Based on Betalain Using of Complex Coacervation in Gummy Candies

A. Ghorchi[1], A. Arianfar[1*], V. Hakimzadeh[1], S. Naji-Tabasi[2]

1- Department of Food Science and Technology, Qu.C, Islamic Azad University, Quchan, Iran
(*- Corresponding Author Email: ak.arianfar@iau.ac.ir)
2- Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), POBox: 91895-157.356, Mashhad, Iran

Received: 22.06.2024 Revised: 15.10.2024 Accepted: 29.10.2024 Available Online: 23.04.2025	**How to cite this article:** Ghorchi, A., Arianfar A., Hakimzadeh, V., & Naji-Tabasi, S. (2025). Nano-encapsulation of red beetroot extract based on betalain using of complex coacervation in gummy candies. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(2), 147-164. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88135.1333

Introduction

Red beet has nutritional and health-promoting properties due to containing bioactive compounds such as phenolic compounds and betanin. Co-encapsulation of more than one core material in a single encapsulation system may increase the bioactivity of individual components. Customer attitudes and behaviors have moved towards health foods because they have more concerns on increasing environmental stresses such as pollution and toxic substances in the environment. Confectionery products are not exactly foods, but they are widely consumed by children and adults. Traditional gummy confection consists of high amounts of synthetic colorings or flavorings in a gelling agent, commonly known as gelatin, along with acids and sweeteners. Natural color in the form of pigments is synthesized and accumulated in living biological cells of algae, vertebrates, invertebrates, fungi, lichens, or bacteria. The red color in food industry comes mainly from two pigments: anthocyanin and betalains. Among the major groups of natural pigments, betalains can be considered as the least studied, due to its limited sources. The main commercially produced crop containing betalain is red beet root, however many researchers are exploring red dragon fruit or pitaya as a viable alternative. Betalains, derived from beetroot are water-soluble nitrogenous pigments that stop or delay the oxidation process and exhibit anti-tumor and antiatherosclerotic effects. The application of red color from beetroot (mainly betalains) is permitted widely in ice cream, sherbet, yogurt, powdered soft drink mix along with confectionaries, soups, and bacon products. The stability of betalains varies with different levels of water activity, temperatures, exposure to oxygen, and light. Complex coacervation is one of the oldest and simplest techniques of encapsulating bioactive compounds for delivery in controlled manner. The technique associates simple preparation conditions, such as non-toxic solvent and low agitation, the techniques has also been employed in the encapsulation of protein and human cells. Microcapsules prepared by complex coacervation are water-insoluble, possessing excellent controlled-release characteristics. Complex coacervation is a technique by which phase separation occurs when oppositely charged polyelectrolytes are electrically balanced in aqueous media. This depends on relatively a set of conditions such as pH, charge density on the polymers, colloid concentration, ionic strength of the medium, temperature, etc. However, all polyelectrolytes do not exhibit this phenomenon.

Materials and Methods

The features of water activity, moisture, acidity, Brix, antioxidant activity, texture characteristics, colorimetry and sensory evaluation of pastilles were investigated. All analyzes were performed with three replications in a completely randomized design. Means were compared using Duncan's multi-range test at a significant level of 5% with SPSS version 22 software.

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88135.1333

Results and Discussion

The results showed that water activity of samples containing nanomicrocoating of red beet extract was significantly lower than the control sample ($p<0.05$), but the moisture, acidity and brix of the sample containing nanomicrocoating of red beet extract were significantly higher from the control ($p<0.05$). During the storage period of 28 days, it showed that the sample containing 1.5% red beetroot extract's nano-coating had a significantly higher stability of the antioxidant property than other samples ($p<0.05$). The results of the histological test showed that the sample containing the red beet extract nano-coating had a significant decrease in hardness, stickiness and chewability compared to the control ($p<0.05$), but the degree of cohesion showed a significant increase ($p<0.05$). Examining the color parameters of the samples containing red beetroot extract nano-coating compared to the control sample also showed that it caused a decrease in brightness (L^*) and yellowness (b^*) and an increase in (a^*).

Conclusion

The results of the sensory evaluation showed that the sample containing 1% red beetroot extract nano-coating was awarded the highest score compared to the control.

Keywords: Antioxidant, Complex coacervation, Gummy candy, Red beetroot, Texture analyzer

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۴، ص. ۱۷۸-۱۶۵

ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر پایه بتالائین با استفاده از روش توده‌ای‌سازی مرکب در پاستیل

عاطفه قورچی[۱]- اکرم آریان‌فر[۱*]- وحید حکیم‌زاده[۱]- سارا ناجی طبسی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸

چکیده

چغندر قرمز به‌دلیل داشتن ترکیبات زیست‌فعالی مثل ترکیبات فنلی و بتانین دارای خواص تغذیه‌ای و سلامتی‌بخش می‌باشد. ریزپوشانی توأم چند ترکیب در یک ماتریکس، باعث افزایش فعالیت زیستی آنها نسبت به حالتی می‌شود که تک‌تک ریزپوشانی شوند. هدف از انجام این پژوهش، ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر پایه بتالائین با استفاده از روش توده‌ای‌سازی مرکب بر روی ویژگی‌های فعالیت آبی، رطوبت، اسیدیته و بریکس فعالیت آنتی اکسیدانی، ویژگی‌های بافت، رنگ‌سنجی و ارزیابی حسی پاستیل مورد بررسی قرار گرفت. تمامی آنالیزها با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۵ درصد با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. نتایج نشان داد که، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان فعالیت آب به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد است ($p<0.05$) اما میزان رطوبت، اسیدیته و بریکس نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد بود ($p<0.05$). در طول مدت نگهداری ۲۸ روز نشان داد، نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد میزان پایداری خاصیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر نمونه‌ها است ($p<0.05$). نتایج آزمون بافت‌سنجی نشان داد، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز نسبت به نمونه شاهد میزان سختی، چسبندگی و قابلیت جویدن کاهش معنی‌داری دارد ($p<0.05$) اما میزان پیوستگی افزایش معنی‌داری نشان داد ($p<0.05$). بررسی پارامترهای رنگی نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز نسبت به نمونه شاهد نیز نشان داد که باعث کاهش روشنایی (L^*) و زردی (b^*) و افزایش (a^*) شده است. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نشان داد که نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد بیشترین امتیاز نسبت به نمونه شاهد تعلق گرفت.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، بافت‌سنجی، توده‌ای‌سازی مرکب، پاستیل، چغندر قرمز

مقدمه

چغندر قرمز منبع خوبی برای پیگمان‌های قرمز بوده و به‌طور فزآینده‌ای برای تولید رنگ قرمز غذایی استفاده می‌شود. پیگمان‌های قرمز و زرد چغندر در مجموع تحت عنوان بتالائین شناخته شده و شامل بتاسیانین‌های قرمز و بتاگزانتین‌های زرد می‌باشند. پیگمان‌های چغندر قرمز تحت عنوان بتالائین به خوبی در آب حل می‌شوند و در الکل نامحلول هستند. پیگمان اصلی در چغند قرمز بتالائین و به صورت گلوسیدبتانیدین است که وزن مولکولی آن ۵۵۰/۴۸ گرم بر مول می‌باشد (Neelwarne & Rudrappa, 2013). بتاسیانین عمده و اصلی چغند قرمز، بتانین بوده که ۷۵ تا ۹۵ درصد از کل پیگمان های چغندر را تشکیل می‌دهد. پیگمان‌های باقی‌مانده شامل ایزوبتالین، پریبتانین و ایزوپریبتانین می‌باشد (Azeredo, 2009). براین اساس، به‌دلیل غنی بودن چغندر قرمز از رنگدانه‌های طبیعی و به‌ویژه بتالائین‌ها، فراوانی آن در کشورمان و در دسترس بودن این

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ak.arianfar@iau.ac.ir)
۲- گروه نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88135.1333

گیاه، فواید ویژه برای سلامت انسان، و نیز مقرون به صرفه بودن آن، این گیاه از پتاسیل بسیار بالایی برای استفاده به‌عنوان منبع بتالائین و افزودنی رنگی طبیعی در فرمولاسیون غذایی، دارویی و بهداشتی برخوردار است. اما مهمترین چالش در استفاده از رنگ‌های طبیعی خوراکی، عدم پایداری آنها در مراحل مختلف تولید و نگهداری محصولات می‌باشد (Yousefi, 2018).

از جمله فرآورده‌های جدید میوه‌ها، پاستیل میوه‌ای است که ضمن بالا بودن ارزش تغذیه‌ای به‌دلیل کاهش فعالیت آب، زمان ماندگاری بالایی دارد و جایگزین پاستیل‌های رایج در بازار که حاوی ژلاتین، اسید، رنگ، اسانس و سایر افزودنی‌های مصنوعی هستند، گردد (Fathi, 1992). پاستیل میوه‌ای فرآورده‌ای است که پایه اصلی آن پوره میوه، هیدروکلوئیدها و ترکیبات شیرین‌کننده می‌باشد. این فرآورده را می‌توان از میوه‌های مازاد بر مصرف نیز تهیه نمود. تولید چنین فرآورده‌ای در مقیاس تجاری علاوه بر جلوگیری از ضایعات میوه به‌دلیل طبیعی بودن و ارزش غذایی بالا به‌ویژه از نظر میزان مواد معدنی، ویتامین‌ها و فیبر، زمان ماندگاری بالا، طعم مطلوب، می تواند مورد توجه قشر وسیعی از جامعه قرار گیرد (Fathi, 1992). هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون تنقلات میوه‌ای برای ایجاد بافت جدید، افزایش پایداری به‌دلیل قابلیت نگهداری آب، بهبود بافت، تأثیر بر رهاسازی طعم و سایر ویژگی‌های ساختاری و حسی در فرآورده مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Goldfield & Epstein, 2002).

تکنولوژی ریزپوشانی در صنایع غذایی توجه زیادی را به خود جلب کرده است چراکه می‌تواند نیازهای سلامتی و امنیت مصرف‌کنندگان را مرتفع سازد (Pai *et al*., 2015). این تکنولوژی فرآیندی است که در آن یک ماده با ماهیت جامد، مایع و یا گاز توسط از فواید - یک فیلم یا ماده پلیمری احاطه می‌شود (Bakry *et al*., 2016). از فواید ریزپوشانی می‌توان به کنترل آزاد شدن طعم و بو، محافظت از ترکیبات فعال و حساس، بهبود پایداری و افزایش عمر ماندگاری اشاره نمود (Li *et al*., 2015). به علاوه روغن‌های مایع در صورتی‌که ریزپوشانی شوند می‌توانند به مواد جامد اضافه شوند که در این حالت تولید، استفاده، نگهداری و انتقال آنها به ماده غذایی راحت‌تر است (Sagalowicz & Leser, 2010).

توده‌ای شدن یا کواسرواسیون، فرآیند تغییر ماکرومولکول‌ها (فاز توده‌ای شونده) با خصوصیات فیلمی از حالت حلال‌پوشی شده در یک فاز حد واسط، به حالتی‌که در آن یک فیلم اطراف هر ذره تشکیل می‌شود و سپس حالت نهایی که در آن، این فیلم جامد یا سفت می شود (Speiser, 1976). فرآیند توده‌ای شدن برخی معایب را دارا است. این فرآیند بسیار گران بوده و نسبتاً پیچیده است. همچنین بهینه‌سازی غلظت ماده دیواره در فرآیند امولسیه کردن و توده‌ای کردن دشوار است چون غلظت مورد نیاز برای به‌دست آوردن امولسیون ریز ممکن است متفاوت از آنچه که برای افزایش بازده میکروکپسول‌ها مورد نیاز است، باشد (Azadmard Dimerchi & Emami, 2012). یکی از فاکتورهای مهم در تولید ریزکپسول‌ها انتخاب ماده دیواره است. پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها دو ترکیب اصلی مورد استفاده در دیواره ریزکپسول‌ها هستند. از جمله ترکیبات پلی ساکاریدی که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند صمغ‌های ترشحی هستند. صمغ‌های ترشحی در زمره ابتدایی‌ترین صمغ‌ها به شمار می‌روند. زیرا همیشه در دسترس بشر بودند و به آسانی از درختان یا بوته‌ها برداشت می‌شدند. این صمغ‌ها بیوپلیمرهایی با وزن مولکولی بالا هستند که در مقادیر کم در فرمولاسیون مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ghasempour *et al*., 2012). از جمله صمغ بومی ایران می‌توان به صمغ دانه شاهی اشاره نمود.

گیاه شاهی[1] با نام علمی *لپیدیوم ساتیوم*[2]، از خانواده کروسیفرا[3] بوده و در انگلیسی عموماً تحت عنوان "شاهی باغی[4]" نامیده می‌شود. شاهی یک گیاه کوچک، علفی و بدون کرک یکساله و به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر است. هنگامی که دانه‌ها در آب خیسانده می‌شوند، به سرعت آب را جذب می‌کنند و مایع چسبناک و بی‌مزه‌ای را تولید می کنند. مشخص شده است که دانه‌ها حاوی مقدار بسیار زیادی ترکیبات موسیلاژی هستند (Karazhiyan, 2010).

ژلاتین یک ماده پروتئینی کلوئیدی و قدیمی‌ترین ماکرومولکولی است که از هیدرولیز کلاژن موجود در پوست، استخوان و بافت پیوندی حیوانات از جمله دام، طیور و آبزیان به‌دست می‌آید (Kazemi Deliri, 1994). ژلاتین حاوی ۹۰-۸۴ درصد پروتئین و ۲-۱ درصد نمک‌های معدنی می‌باشد و بقیه آن را آب تشکیل می‌دهد. ژلاتین فاقد هر گونه ماده نگهدارنده یا افزودنی‌های دیگر است، همچنین فاقد چربی، کلسترول و پورین‌ها (ترکیبات اسید اوریک) می‌باشد (Ward & Courts, 1977). فتحی آچاچلونی و همکاران (Fathi-Achachlouei *et al*., 2018)، رویکرد جدیدی در جهت درون پوشانی آنتوسیانین تمشک وحشی با روش کواسرواسیون با ژلاتین و صمغ عربی انجام دادند. فرآیند کواسرواسیون به‌عنوان تابعی از غلظت ژلاتین، صمغ عربی، ماده هسته در نسبت‌های ۱:۱، ۱، ۰/۵: ۱:۱ غلظت‌های محلول پلیمر ۵ و ۷/۵ وزنی/حجمی و pH (۴، ۵، ۵/۳ و ۵/۴) مورفولوژی و اندازه ذرات، رطوبت، انحلال‌پذیری، هیگروسکوپی، ظرفیت بارگیری، پایداری و اسپکتروسکوپی فروسرخ

1- Cress seed
2- *Lepidium sativum*
3- Cruciferea
4- Garden cress

FTIR ارزیابی شد. میکروکپسول‌ها رطوبت، انحلال‌پذیری و هیگروسکوپی کمتری نسبت به فرم آزاد آنتوسیانین داشتند. بر طبق HPLC پایداری آنتوسیانین تا ۳۶ درصد بعد ۲ ماه نگهداری در ۳۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. میکروکپسول بهینه رنگ قرمز زیادی نشان داد که نشان دهنده‌ی مؤثر بودن روش کواسرواسیون بود. امجدی و همکاران (Amjadi *et al.*, 2018)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و پایداری بتانین ریزپوشانی شده با مالتودکسترین در ۲ غلظت (۰/۵ و ۱ درصد وزنی/وزنی) به روش خشک کردن پاششی در پاستیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، میزان بتانین و درصد بازدارندگی در برابر DPPH در پاستیل حاوی بتانین ریزپوشانی شده به‌طور معنی داری بیشتر از پاستیل حاوی بتانین آزاد پایدار می‌باشد ($p<0.05$). اختلاف بین فعالیت آبی نمونه‌های حاوی بتانین ریزپوشانی شده و آزاد معنی‌دار بوده ($p<0.05$) و ریزپوشانی بتانین باعث کاهش فعالیت آبی پاستیل شد. بررسی پارامترهای رنگی نمونه‌های پاستیل نیز نشان داد که ریزپوشانی بتانین باعث افزایش روشنایی (L^*) و زردی (b^*) و کاهش قرمزی (a^*) نمونه‌های پاستیل شده است. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های پاستیل نیز نشان داد که به رغم پذیرش حسی پایین نمونه‌ی پاستیل حاوی ۱ گرم بتانین آزاد، ریزپوشانی بتانین باعث بهبود ویژگی‌های حسی پاستیل شده و بیشترین امتیاز پذیرش کلی به نمونه حاوی ۱ گرم بتائین ریزپوشانی شده تعلق گرفت.

طبق مطالعات صورت گرفته تاکنون در مورد ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز با استفاده از روش توده‌ای‌سازی مرکب تحقیقی صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه، ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر پایه بتالائین با استفاده از روش توده‌ای‌سازی مرکب در پاستیل مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

چغندر قرمز از بازار محلی تهیه گردید. صمغ دانه شاهی (شرکت ریحان گام پارسیان، ایران) و ژلاتین تجاری (شرکت کیان شیمی، ایران) خریداری شدند. کلیه مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

آماده‌سازی عصاره چغندر قرمز

چغندر قرمز بعد از شستشو و پوست‌گیری به‌صورت خلال درآورده شد در محل تاریک و در دمای اتاق به‌مدت یک هفته تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید و سپس با آسیاب به‌صورت پودر شد. برای استخراج عصاره، پودر چغندر قرمز تهیه شده به‌نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر به‌مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی (مدل Heidolph، ساخت کشور آلمان) مخلوط گردید و سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه بدون اعمال حرارت در حمام اولتراسونیک (مدل Parsonic 30s، ساخت کشور ایران) با فرکانس ۲۸ کیلو هرتز قرار گرفت. عصاره بتانینی به‌دست آمده با کاغذ صافی واتمن و پمپ خلا (مدل Milipore، ساخت کشور فرانسه) صاف گردید و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۷۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ (مدل PIT320، ساخت کشور ایران) شد (Vulic *et al.*, 2012).

ریزپوشانی به روش توده‌ای‌سازی مرکب و خشک کردن انجمادی

ابتدا امولسیون (w/o) با استفاده از محلول عصاره چغندر قرمز (۳۰ درصد وزنی/حجمی) و روغن سویا نسبت ۲:۱ همراه با ۳ درصد امولسیفایر لیپوفیلیک پلی‌گلیسرول پلی ریسینولئات ۴۱۵۰ تشکیل شد. امولسیون اولیه (w/o) با افزودن محلول‌های ژلاتین حاوی ۱ درصد توئین ۸۰ به‌عنوان امولسیفایر هیدروفیل امولسیفیه شد تا امولسیون w/o/w به‌دست آید. امولسیون‌ها (ساده و دوگانه) به‌ترتیب در rpm۱۲۵۰۰ به‌مدت ۴ دقیقه و rpm۱۰۰۰۰ به‌مدت ۴ دقیقه در اولتراتوراکس به‌دست آیند. پایداری هر دو با مشاهدات چشمی و میکروسکوپ نوری ارزیابی شد. در ادامه محلول صمغ شاهی به امولسیون دوگانه در ۴۰ درجه سانتی‌گراد با همزن مغناطیسی به آرامی اضافه شد. سپس تنظیم pH تا ۴ با محلول اسید کلریدریک ۱ مولار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به کمک همزن مغناطیسی انجام شد به تدریج دما تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده شد. ماده کپسوله شده در ۷ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت جهت تسریع در جداشدن دو فاز نگه داشته شده سپس با خشک کردن انجمادی خشک گردد. فرمولاسیون میکروکپسول با غلظت معین عوامل درون‌پوشانی صمغ شاهی (در غلظت ۰/۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) ژلاتین به میزان ۵ گرم و ماده‌ی هسته (امولسیون اولیه تهیه شده با چغندرقرمز) به میزان ۱۰ گرم به‌عنوان تابعی از جرم کل پلیمر به‌دست آیند (Fathi-Achachlouei *et al.*, 2018).

تولید پاستیل

جهت تولید پاستیل، ابتدا شکر در آب مقطر تحت اعمال حرارت حل شده و سپس شربت گلوکز نیز به آن اضافه گردید. ژلاتین حل شده به روش بن‌ماری به محلول شکر و گلوکز اضافه شده و تا غلیظ شدن محلول تحت اعمال حرارت قرار گرفت. بعد از افزودن اسید سیتریک و عصاره چغندر قرمز مخلوط تهیه شده بدون اعمال حرارت روی همزن مغناطیسی جهت کاهش دما قرار گرفت. سپس با رسیدن

دمای مخلوط به کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد پودر بتانین در مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی به آن اضافه گردید، سپس مخلوط نهایی درون قالب‌هایی ریخته شده قالب‌ها به‌مدت ۲ ساعت درون یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت بستن ژل قرار گرفتند. سپس ژل حاصل از درون حفره‌های قالب خارج گردیده و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد درون آون خشک شدند (Amjadi *et al.*, 2018).

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

آزمون رطوبت

۵ گرم از نمونه را در یک ظرف، تمیز که قبلاً به وزن ثابت رسیده بود وزن و نمونه به آرامی در ته ظرف پخش شد. ظرف حاوی نمونه با دمای ۷۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون خلاء (مدل Memert ساخت کشور آلمان) به‌مدت ۳ ساعت قرار گرفت، پس از آن ظرف از آون خارج و در دیسکاتور قرار گرفت تا سرد شود سپس وزن شد. عمل حرارت دادن و سرد کردن در دیسکاتور دوباره تکرار شد تا هنگامی‌که اختلاف دو توزین پی در پی کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم شد (Iran National Standards Organization, No.2852).

فعالیت آبی

به‌منظور تعیین فعالیت آبی، وزن مساوی از هر نمونه کاملاً خرد گردید و فعالیت آبی نمونه توسط دستگاه رطوبت‌سنج مدل Novasina ساخت کشور سوئیس در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (Khosrow Shahi, 1997).

آزمون اسیدیته

۵ گرم از نمونه پاستیل در یک ارلن وزن شد و با آب مقطر خنثی شده رقیق شد (۶ سی‌سی آب مقطر اضافه شد). سپس ۱ سی‌سی محلول شناساگر فنل فتالئین ریخته شد و با محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیتر شد. در ضمن تیتر کردن محتوی ارلن مرتب همزده شد نقطه پایان تیتراسیون هنگامی بود که رنگ صورتی ارغوانی ظاهر شده در محیط برای مدت ۳۰ ثانیه پایدار بماند. این آزمون با ۳ تکرار انجام شد (Iran National Standards Organization, No. 2682).

آزمون بریکس

۵ گرم از نمونه در یک بشر وزن شده و به آن ۲۰ میلی‌لیتر آب گرم اضافه شد و با همزن شیشه‌ای تا حل شدن کامل نمونه همزده شد و سپس محلول را سرد کرده و یک قطره از نمونه محلول روی دستگاه رفراکتومتر چشمی (Carlze، آلمان) قرار داده شد تا بریکس آن معلوم شود مقدار خوانده شده در عدد ۵ ضرب شد و پاسخ به‌عنوان مقدار بریکس نمونه مورد آزمایش تعیین شد (Iran National Standards Organization, No. 2682).

تعیین پایداری خاصیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (AOC[1]) پاستیل در طول مدت نگهداری (۱، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز) با استفاده از روش DPPH تعیین گردید. محلول اتانولی حاوی DPPH (۰/۰۱ mM) تهیه شده و به نسبت ۱ به ۱ با محلول پاستیل به‌دست آمده مخلوط گردید و سپس تغییرات جذب بعد از ۴۵ دقیقه نگه‌داری در تاریکی در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتوفتومتر نور مرئی خوانده شده و با قرار دادن مقادیر به دست آمده در رابطه ۱ درصد بازدارندگی DPPH به‌دست آمد (Mishra *et al.*, 2012).

$$I(\%) = (A_{blank} - A_{sample})/A_{blank} \times 100 \quad \text{(درصد بازدارندگی)} \quad (۱)$$

در این فرمول A_{blank} جذب نوری کنترل منفی را که فاقد عصاره است و A_{sample} میزان جذب نوری غلظت‌های مختلف عصاره می باشد.

تعیین پارامترهای رنگی

به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای رنگی نمونه‌های پاستیل از هر فرمولاسیون پاستیل سه قطعه به‌طور تصادفی انتخاب شد و تصاویر با استفاده از دوربین کانون (مدل Canon EQS 8000 D، ساخت کشور تایوان) با زاویه ۹۰ درجه عمودی عکس‌برداری و تصاویر با فرمت JPG ذخیره گردیدند. سایر مراحل پردازش تصویر با نرم‌افزار Image J 1.40g انجام شد (Khalilian *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری پارامترهای بافتی

جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی نمونه‌های پاستیل (تقریباً ۱۵ میلی‌متر طول × ۱۵ میلی‌متر عرض × ۱۵ میلی‌متر ارتفاع)، از دستگاه آنالیز کننده[2] بافت (مدل QTS25 CNS Farnell) ساخت کشور انگلستان، مجهز به نرم‌افزار کامپیوتری استفاده شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن، از خشک‌کن خارج گردیدند، سپس هر یک از نمونه‌ها در دو سیکل رفت و برگشتی، توسط پروب سلیندری صفحه گرد با قطر ۳/۵ سانتی‌متر، سرعت حرکت پروب ۶۰ میلی‌متر بر دقیقه و

1- Antioxidant capacity
2- Texture Analyzer

نیروی ۵ گرم تا ۳۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه فشرده شده[1]، سپس فشارزدایی[2] شدند. ویژگی‌های بافتی مورد بررسی که از منحنی نیرو-تغییر شکل بدست آمدند. بیشترین نیروی فشاری طی نفوذ (g) به عنوان سختی[3] و سطح منفی منحنی نیرو-زمانی برگشت پروب به عنوان چسبندگی[4] (g.s) در نظر گرفته شد. پیوستگی[5]، مساحت نیروی مثبت فشردن در سیکل دوم به سیکل اول در منحنی است. قابلیت جویدن[6]، کار لازم برای جویدن و خمیر کردن نمونه برای بلع است (Kealy, 2006).

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی از ۲۰ نفر داور آشنا به طعم، بو و بافت محصول استفاده شد. آزمون حسی به روش هدونیک ۹ نقطه‌ای (از شماره ۱ کمترین امتیاز و شماره ۹ بیشترین امتیاز) انجام شد. صفات مورد ارزیابی عبارت بودند از طعم و مزه، رنگ، بافت و پذیرش‌کلی نمونه‌ها و بهترین نمونه به لحاظ پذیرش‌کلی بر طبق امتیاز داوران انتخاب گردید (Shahidi *et al*., 2011).

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایشات در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج از طریق تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح آماری ۵ درصد صورت گرفت. برای تجزیه تحلیل از نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (۲۰۱۳) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی فعالیت آبی، رطوبت، اسیدیته و بریکس پاستیل

میزان فعالیت آبی، رطوبت، اسیدیته و بریکس نمونه‌های پاستیل در جدول ۱ آورده شده است.

همانگونه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، که نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان فعالیت آب به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد است ($p<0.05$). کمترین و بیشترین میزان فعالیت آب به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه شاهد می‌باشد. فعالیت آب بیانگر میزانی از آب در ماده غذایی است که به راحتی خارج نمی‌شود، اما در دسترس ماده است تا به‌عنوان یک حلال شرکت‌کننده در فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی عمل نماید (Ergun *et al*., 2010). در حضور مقدار آب کم برهمکنش بین مولکولی‌های آب و ترکیبات غذایی شدت می‌یابد و فعالیت آب به زیر ۱ می‌رسد (Lewicki, 2004). بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی ماده غذایی در ارتباط با فعالیت آبی می‌باشد. در رطوبت‌های پایین برهمکنش بین مولکول‌های آب و ترکیبات غذایی تشدید می‌شود. همچنین فعالیت آبی ماده در ایجاد طعم و بافت مواد غذایی نقش مهمی دارد (Setser & Brannan, 2003). به‌ویژه در مورد ترکیبات فرار طعم‌زا این نقش برجسته‌تر می‌شود زیرا ترکیبات معطر در فاز گازی که در حقیقت رابطه نزدیکی با فعالیت آبی دارند، منتشر شده و در محدوده خاصی بسته به نوع و ویژگی‌های فرآورده اثر افزاینده یا تشدید کننده بر ایجاد طعم و عطر بر جای می‌گذارند. فاز گازی خود تابعی از میزان فعالیت آبی است. به‌عبارت دیگر هر چه فعالیت آبی کمتر باشد، فاز گازی کمتری وجود خواهد داشت (Piazza & Gigli, 2009). خلیلیان و همکاران (Khalilian *et al*., 2011) و شهیدی و همکاران (Shahidi *et al*., 2011) بیان داشتند که افزایش غلظت هیدروکلوئیدها باعث افزایش شدت اتصال مولکول‌های آب شده و در نهایت باعث کاهش فعالیت آب نمونه‌ها می‌گردد. ژل پکتین از یک شبکه سه بعدی تشکیل می شود که آب، قند و سایر مواد محلول را نگه می‌دارد. اتصالات موجود از نوع هیدروژنی و هیدروفوبیک می‌باشد (Chinachoti, 1995). از طرف دیگر در تشکیل شبکه ژلی پکتین، برهمکنش‌های هیدروفوبیک بین گروه‌های متیل بسیار مهم می‌باشد (پکتین‌های با درجه استری بالا) و چون بیش از نیمی از گروه‌های کربوکسیلیک هیدروفیلیک به گروه‌های استر هیدروفوبیک تغییر داده شده‌اند، تماس با مولکول‌های قطبی آب کاهش یافته است که می‌توانند عاملی در جهت کاهش میزان آب با افزایش غلظت پکتین باشد (Piotr, 2004). هانسن (Hansson *et al*., 2001)، اظهار داشت زمانی که میزان آب بسیار پایین است (در پاستیل‌های میوه‌ای)، ویسکوزیته و فعالیت آب دو پارامتری هستند که بر انتشار و رهاسازی ترکیبات معطر اثر می‌گذارد. به‌عبارت دیگر غذاهای ژله‌ای شده مانعی برای انتشار و نفوذ مواد معطر در فاز بخار بوده و عوامل ژل‌ساز با مواد معطر واکنش می‌نمایند (Hansson *et al*., 2001). پیازا و جیگلی (Piazza & Gigli, 2009)، طی پژوهشی که در همین راستا انجام دادند بیان نمودند که با افزایش میزان و غلظت هیدروکلوئیدها، شدت باند هیدروکلوئیدها با مولکول‌های آب افزایش می‌یابد و نهایتاً کاهش فعالیت آبی نمونه‌ها را به‌دنبال خواهد داشت.

1- Compression
2- Decompression
3- Hardness
4- Adhesiveness
5- Cohesiveness
6- Chewiness

جدول ۱- اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر میزان فعالیت آبی، رطوبت، اسیدیته و بریکس نمونه‌های پاستیل

Table 1- The effect of nano-encapsulation of red beetroot extract on water activity, moisture, acidity and brix of gummy candies

تیمارها Treatments	فعالیت آبی Water activity	رطوبت Moisture	اسیدیته Acidity	بریکس Brix
نمونه شاهد Control	0.75±0.02^{a}	11.25±1.19^{d}	0.28±0.02^{d}	53.37±2.35^{d}
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۰/۵ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 0.5%	0.68±0.05^{b}	12.37±2.07^{c}	0.34±0.04^{c}	62.54±3.28^{c}
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 1%	0.57±0.06^{c}	14.41±1.26^{b}	0.47±0.08^{b}	82.54±1.31^{b}
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 1.5%	0.42±0.03^{d}	15.37±1.32^{a}	0.52±0.06^{a}	91.54±2.25^{a}

*ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P<0.05).

* Means in a column followed by the different superscripts are significantly different at P ≤ 0.05 by Duncan test.

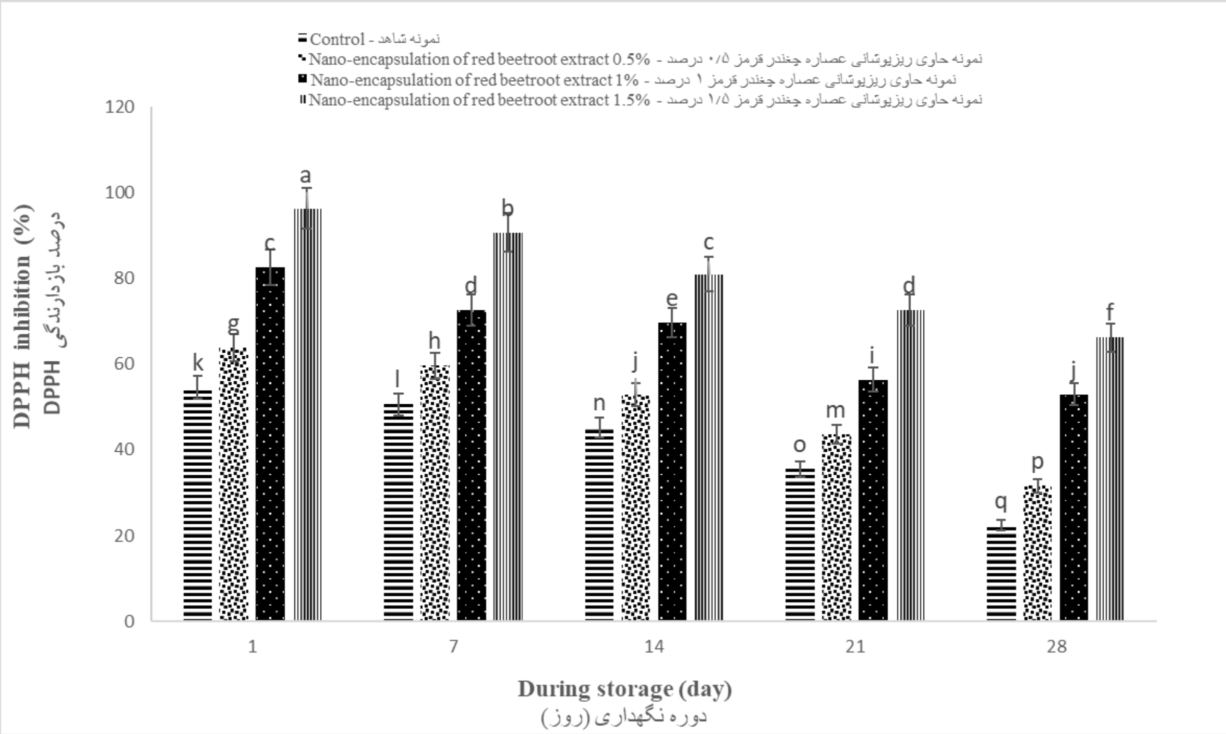
همانگونه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، که نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان رطوبت به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است (p<0.05). کمترین و بیشترین میزان رطوبت به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد می‌باشد. ترکیبات هیدروکلوئیدی با توجه به خصوصیات عملکردی بعنوان پایدارکننده و جهت حفظ رطوبت موجود در محصول مورد نظر، در فرمولاسیون مواد غذایی استفاده می‌شوند (Goldstein *et al.*, 1973). این ترکیبات نه تنها بر ساختمان فیزیکی و خصوصیات فرآیندی ماده غذایی حاوی هیدروکلوئیدها عمیقاً اثر می‌گذارد بلکه از نقطه نظر فساد ماده غذایی نیز به‌دلیل تأثیری که بر روی فعالیت آب دارد، بسیار حائز اهمیت است (Fatemi, 2005).

همانگونه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، که نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان اسیدیته به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است (p<0.05). کمترین و بیشترین میزان اسیدیته به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد می‌باشد. احتمالاً بدلیل دارا بودن ترکیباتی همچون گالیک اسید در ساختار چغندر قرمز می‌باشد. همچنین نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان بریکس به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است (p<0.05). کمترین و بیشترین میزان بریکس به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد می‌باشد.

تعیین پایداری خاصیت آنتی‌اکسیدانی

اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر میزان پایداری خاصیت آنتی اکسیدانی نمونه‌های پاستیل در شکل ۱ آورده شده است. همانگونه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در طول مدت نگهداری ۲۸ روز نشان داد، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان بازدارندگی به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است (p<0.05). کمترین و بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد در روز اول و نمونه شاهد در روز ۲۸ می‌باشد از آن‌جا که بتانین تنها ترکیب آنتی‌اکسیدان فرمولاسیون پاستیل حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز می‌باشد، به همین دلیل این نتایج تصدیق کننده‌ی نتایج حاصل از بررسی میزان پایداری بتانین در طول مدت زمان نگهداری می‌باشد.

رادیکال آزاد DPPH یک ترکیب معمول در ارزیابی قدرت جذب رادیکال‌های آزاد بوسیله پلی‌ساکاریدها می‌باشد. در آزمون جذب و غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد DPPH، آنتی‌اکسیدان‌ها رنگ بنفش تیره پایدار رادیکال DPPH را به زرد کمرنگ دی فنیل پیکریل هیدرازین تبدیل می‌کند. تاثیر آنتی‌اکسیدان‌ها بر جذب رادیکال‌های آزاد DPPH، به ظرفیت اشتراک‌گذاری هیدروژن توسط آن‌ها مربوط می‌شود (Chen *et al.*, 2008). اندازه‌گیری میزان توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH، به‌عنوان یک آزمون معتبر و در عین حال ساده به‌طور گسترده جهت بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمون، می‌توان به فعالیت آنتی‌اکسیدانی تعداد زیادی نمونه را در طی مدت زمان کوتاه مورد ارزیابی قرار داد. علاوه بر این، حساسیت بالای رادیکال‌های DPPH امکان تعیین فعالیت ضد رادیکالی غلظت‌های پایین ترکیبات آنتی اکسیدانی را نیز فراهم می‌نماید (Sanchez-Moreno, 2002).



شکل ۱- اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر میزان پایداری خاصیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پاستیل

ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P<0.05).

Fig. 1. The effect of nano-encapsulation of red beetroot extract on stability of antioxidant properties of gummy candies

* Means in a column followed by the different superscripts are significantly different at P ≤ 0.05 by Duncan test

هر چقدر میزان رنگدانه استخراجی از چغندر قرمز در نمونه‌ها افزایش یافت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز به نسبت آن افزایش یافت. چغندر قرمز دارای مقدار زیادی رنگدانه بتالائین و ترکیبات فنولی با خواص آنتی‌اکسیدانی زیاد می‌باشد و در واقع بین خاصیت آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه بتالائین رابطه خطی وجود دارد (Czapski *et al*., 2009). اساساً ترکیبات فنولیک به‌دلیل وجود پروتون آزاد موجود در حلقه فنول توانایی بالایی در مهار رادیکال‌ها دارند که رنگیزه‌های موجود در چغندر قرمز نیز از این نظر مستثنا نیستند. بتالائین‌ها که رنگدانه‌های نیتروژن‌دار محلول در آب هستند که در چغندر قرمز یافت می‌شوند (Cardoso- Ugarte *et al*., 2014). هانی و همکاران (Hani *et al*., 2015)، با بررسی میزان بازدارندگی پاستیل حاوی عصاره بتالائینی میوه پیتایا در طول مدت زمان نگهداری ۸ هفته‌ای به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان عصاره افزوده شده به پاستیل میزان بازدارندگی DPPH نیز افزایش یافته ولی با گذشت زمان این میزان بازدارندگی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در پژوهشی به بررسی فرمولاسیون ماست طعم‌دار میوه‌ای قالبی با استفاده از رنگدانه طبیعی چغندر قرمز و عصاره طعمی میوه (توت فرنگی) پرداختند و نتایج حاصل از فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد که رنگدانه‌ها و ترکیبات فنولی عصاره چغندر قرمز، موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی ماست می‌شوند که تأثیرات سلامت‌بخشی بر بدن دارند (Ghyasi *et al*., 2012). در مطالعه‌ای به نقش آنتی‌اکسیدانی عصاره جدا شده از چغندر قرمز در فرمولاسیون‌ها و تولید مواد غذایی فراسودمند از جمله شراب، شکلات و فرآورده‌های قنادی اشاره شد (Kusano *et al*., 2016). در پژوهشی دیگر از کینتیک تخریب حرارتی بتالائین‌ها در مقایسه با اسید آسکوربیک بررسی کردند که از مقاومت بالاتر این رنگدانه و حفظ ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی اشاره کردند (Sanchez- Chavez *et al*., 2015).

ارزیابی بافت

اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر ویژگی‌های بافت نمونه‌های پاستیل در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر ویژگی‌های بافت نمونه‌های پاستیل

Table 2- The effect of nano-encapsulation of red beetroot extract on texture properties of gummy candies

تیمارها Treatments	سختی Hardness (g)	چسبندگی Adhesiveness (g.s)	پیوستگی Cohesiveness (-)	قابلیت جویدن Chewiness (g.mm)
نمونه شاهد Control	923.35±4.76[a]	-0.68±0.02[a]	0.35±0.04[d]	635.38±2.75[a]
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۰/۵ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 0.5%	625.62±8.53[b]	-0.72±0.04[b]	0.52±0.07[c]	549.26±2.32[b]
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 1%	598.37±2.14[c]	-0.83±0.03[c]	0.61±0.03[b]	443.47±1.72[c]
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 1.5%	484.15±3.28[d]	-0.91±0.05[d]	0.82±0.06[a]	320.32±1.36[d]

ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، $P<0.05$).

* Means in a column followed by the different superscripts are significantly different at $P \leq 0.05$ by Duncan test.

ویژگی‌های بافتی مواد غذایی در پذیرش آن از سوی مصرف کننده اهمیت و نقش به سزایی دارد. برای برخی مصرف‌کنندگان مواد غذایی، بافت نسبت به رنگ و طعم از اهمیت بیشتری برخوردار است (Guine & Joao Barroca, 2012). آنالیز پروفایل بافت سال‌هاست بعنوان روشی مناسب برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و پارامترهای حاصل از منحنی‌های آن ارتباط خوبی با داده‌های حسی دارد (Lau, 2000).

سختی، مقاومت ماده غذایی نسبت به اعمال نیروی فشاری به کار گرفته شده است (Szczesniak, 2002). همانگونه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان سختی به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد است ($p<0.05$). کمترین و بیشترین میزان سختی بافت به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه شاهد می باشد. احتمالاً بهدلیل وجود صمغ شاهی در فرمولاسیون پاستیل، منجر به افزایش رطوبت نمونه گردید که این خود می‌تواند عاملی در جهت نرم‌تر شدن بافت و کاهش سختی نمونه باشد. در سیستم‌های مخلوط ژلاتین- نشاسته استحکام ژل نهایی کمتر است، چرا که ژلاتین به زمان طولانی برای بستن نیاز دارد. بنابراین ترکیبات نشاسته ابتدا تشکیل شبکه می‌دهند و ممکن است فرآیند برگشت نشاسته نیز رخ دهد که ویژگی‌های رئولوژیکی مخلوط را تغییر خواهد داد. محققان معتقدند که ضعیف‌تر بودن مخلوط ژل‌های نشاسته- ژلاتین دلیل جدا شدن فازها از یکدیگر است (Appelqvist & Debet, 1997).

همانگونه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان چسبندگی به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد است ($p<0.05$). کمترین و بیشترین میزان چسبندگی بافت به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه شاهد می‌باشد. احتمالاً بهدلیل وجود صمغ شاهی در فرمولاسیون پاستیل، میزان باند شدن آب بیشتر و اجزای فرمولاسیون بصورت ساختار متراکم‌تری در کنار یکدیگر قرار گرفته و چسبندگی فرآورده را کاهش می‌دهند. کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروی جاذبه بین سطح ماده و سطح سایر موادی که با ماده در تماس هستند را چسبندگی می‌نامند (Kealy, 2006). خلیلیان و همکاران (Khalilian *et al.*, 2011)، اثر غلظت‌های مختلف پکتین را بر چسبندگی بافت نمونه‌های پاستیل طالبی بررسی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که با افزایش غلظت پکتین، میزان چسبندگی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، بر اساس نتایجی که خزایی و همکاران (Khazaei *et al.*, 2014)، طی پژوهشی بر روی اثر غلظت‌های مختلف آگار بر چسبندگی بافت نمونه‌های پاستیل کیوی انجام دادند؛ اظهار داشتند که بین میزان هیدروکلوئید آگار در فرمولاسیون پاستیل و چسبندگی نمونه‌ها رابطه معکوس وجود داشت، به‌طوری‌که با افزایش غلظت هیدروکلوئید میزان چسبندگی کاهش یافت.

همانگونه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان پیوستگی به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است ($p<0.05$). کمترین و بیشترین میزان پیوستگی بافت به‌ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد می‌باشد. پیوستگی مقاومت درونی ساختار ماده غذایی است و میزان آن به برهم‌کنش‌های درون مولکولی اجزا فرمول بستگی دارد (Szczesniak, 2002). براساس تعریف دیگر، پیوستگی عبارت است از مقدار تغییر شکل که در یک نمونه قبل از پارگی هنگامی که به‌طور کامل توسط دندان فشرده شود، رخ می‌دهد (Abd Karim *et al.*, 1999). شهیدی و همکاران (Shahidi *et al.*, 2011)، گزارش کردند اثر پکتین و اگار بر ویژگی های بافتی فرآورده را می‌توان به ساختار شبکه ژلی و برهمکنش‌های درون مولکولی بین اجزای فرمول و هیدروکلوئیدها مرتبط دانست. ژل پکتین شبکه‌ای پیوسته و متراکم ایجاد می‌کند. با افزایش غلظت آگار نیز پیوستگی فرآورده افزایش یافته و در نهایت اجزای فرمول با قدرت

بیشتری با هم در تماس قرار می‌گیرند. خلیلیان و همکاران (Khalilian *et al.*, 2011)، گزارش دادند که افزایش درصد هیدروکلوئید پکتین در فرمولاسیون پاستیل طالبی باعث افزایش پیوستگی بافت نمونه‌ها شد. هرناندس و همکاران (Hernández *et al.*, 1999) به این مطلب اشاره کردند که تغییر در پیوستگی بافت در ژل‌های حاصل از پالپ توت‌فرنگی و ژلاتین، بستگی به غلظت هیدروکلوئید مصرفی و پالپ میوه دارد. در تحقیق این محققان افزایش پالپ میوه یا کاهش غلظت هیدروکلوئید بر پیوستگی بافت نهایی ژل اثر منفی داشت. در ژله‌های قنادی برهم‌کنش بین ژلاتین و سایر ترکیبات رخ می‌دهد و ساکاروز به پایداری این ساختار کمک می‌کند (Farhanaki *et al.*, 2018). بنظر می‌رسد اتصال ژلاتین – قند و جذب آب توسط ژلاتین باعث گردیده که بافت نهایی پاستیل پیوستگی مناسبی داشته باشد.

همانگونه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان قابلیت جویدن به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد است (p<0.05). کمترین و بیشترین میزان قابلیت جویدن به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه شاهد می‌باشد. قابلیت جویدن به تعداد جویدن‌های لازم برای بلعیدن مقدار مشخصی از ماده غذایی اطلاق می‌شود (Fox *et al.*, 2000). قابلیت جویدن حاصل‌ضرب صمغیت در قابلیت ارتجاع بوده و انرژی لازم برای هضم دهانی و جویدن مواد غذایی جامد را نشان می‌دهد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2010) . بولاند و همکاران (Boland *et al.*, 2006) بیان کردند که زمان جویدن ژل قبل از فرو بردن آن بطور معنی‌داری با سفتی ژل افزایش می‌یابد و ژل‌های سخت‌تر به‌مدت طولانی‌تری جویده می‌شوند. خلیلیان و همکاران (Khalilian *et al.*, 2011)، تأثیر میزان پکتین را بر قابلیت جویدن بافت پاستیل طالبی، مستقیم و معنی‌دار ارزیابی کردند. آنها اظهار داشتند پارامترهای بافتی پاستیل طالبی نه تنها تحت تأثیر ماهیت اجزاء و برهمکنش موجود در فرمولاسیون می‌باشد بلکه سایر ویژگی های دیگر به‌ویژه میزان رطوبت نمونه‌ها، می‌تواند بر این پارامترها تأثیرگذار باشد. یوزا و همکاران (Yoza *et al.*, 1999)، بیان داشتند که اکثر قندها به‌دلیل ویژگی آب دوستی شدید و حلالیت آن‌ها محلول‌های بسیار غلیظ تولید می‌کنند، قندها توسط گروه هیدروکسیل با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار می‌نمایند. با توجه به ساختار مولکولی ساکارز و گروه‌های عاملی در معرض آن به نظر می‌رسد پیوندهای هیدروژنی بیشتری در مواد غذایی دارای ساکارز ایجاد شده و با کاهش تحرک آب آزاد باعث افزایش پیوستگی می‌گردند.

رنگ‌سنجی

اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر ویژگی‌های رنگ نمونه‌های پاستیل در جدول ۳ آورده شده است. a^* ، b^* و L^* مشخصه‌های کیفی رنگ هستند که با توجه به این ابعاد رنگ معمولاً به‌صورت مایل به سبز، مایل به قرمز و ... تعریف می‌شود (Sanz *et al.*, 2008). پارامتر a^* نشان‌دهنده تغییر رنگ از قرمز (مقادیر مثبت) به سبز (مقادیر منفی)، شاخص b^* نشان‌دهنده تغییر رنگ از زرد (مقادیر مثبت) به آبی (مقادیر منفی) و شاخص L^* نشان‌دهنده‌ی درخشندگی است که از سیاه به سفید متفاوت است (Pathare *et al.*, 2013). پارامترهای رنگ بر بازار پسندی فرآورده‌ها و پذیرش مصرف‌کننده تأثیرگذارند، حتی با وجود اینکه غذاهای عملگرا به‌عنوان غذاهای سلامتی‌زا شناخته شده‌اند، بدون جاذبه‌ی بصری برای مصرف‌کنندگان نمی‌توانند بازارپسندی مناسبی داشته باشند. بنابراین رنگ فرآورده‌ی غنی شده باید در طول تولید و نگهداری بدون تغییر باقی بماند (Zare *et al.*, 2011).

جدول ۳- اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر ویژگی‌های رنگ نمونه‌های پاستیل

Table 3- The effect of nano-encapsulation of red beetroot extract on colorimetric properties of gummy candies

تیمارها Treatments	L^*	a^*	b^*
نمونه شاهد Control	51.39±1.47^a	37.65±2.53^d	31.24±1.38^a
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۰/۵ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 0.5%	45.64±2.35^b	41.08±1.04^c	28.29±2.34^b
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 1%	37.38±1.82^c	59.27±2.78^b	21.37±1.51^c
نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد Nano-encapsulation of red beetroot extract 1.5	20.19±1.07^d	71.08±1.37^a	17.16±1.16^d

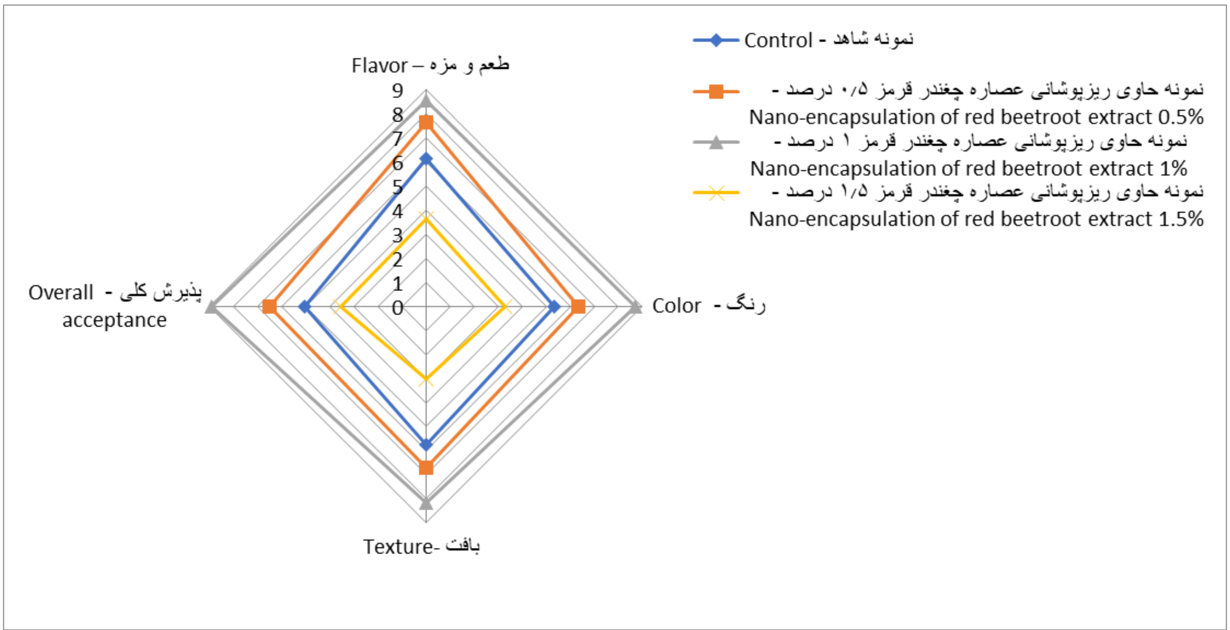
ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P<0.05).

* Means in a column followed by the different superscripts are significantly different at P ≤ 0.05 by Duncan test.

همان‌گونه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، شاخصL^* و b^* نمونه های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز نسبت به نمونه شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($p<0.05$) اما میزان شاخص a^* افزایش پیدا کرد ($p<0.05$). در ارتباط با پدیده ایجاد شبکه و تقویت پیوندهای عرضی میان صمغ شاهی، رنگدانه و گلوگز می‌باشد این پدیده منجر به شکست نور در نمونه‌های پاستیل شده و از میزان شاخصL^* در آن می‌کاهد به عبارت دیگر انسجام ایجاد شده در نمونه‌های پاستیل موجب شکست نور در هنگام بازتاب از سطح جسم شده و در نهایت میزان کدورت را بالا برده و جسم مات‌تر به نظر خواهد آمد. یلمه و همکاران (Yolmeh *et al.*, 2018)، طی پژوهشی بر روی پاستیل هلو حاوی رنگ کاروتنوئیدی استخراج شده از میکروکوکوس روزئوس دریافتند که افزایش غلظت رنگ استخراج شده از میکروکوکوس روزئوس منجر به کاهش شاخص L^* پاستیل هلو شد. در واقع رنگ استخراج شده از میکروکوکوس روزئوس ماهیت کاروتنوئیدی داشته و دارای رنگ نارنجی قرمز بودند و باعث کاهش میزان روشنایی (شاخصL^*) شدند. غیاثی و همکاران (Ghyasi *et al.*, 2012) فرمولاسیون ماست طعم‌دار میوه‌ای قالبی با استفاده از رنگدانه طبیعی و ویژگی‌های آن مورد بررسی قرار دادند. در مورد شاخص رنگی محصول به این نتیجه رسیدند که ۲ درصد عصاره چغندر قرمز در ماست طعم‌دار قالبی، موجب می‌شود تا قرمزی آن نسبت به ماست ساده تقریباً هفت برابر بیشتر باشد (۲/۲۴ درصد در ماست ساده و ۱۴/۲۳ درصد در ماست طعم‌دار). با توجه به اینکه اختلاف رنگی ماست طعم‌دار میوه‌ای در پایان دوره نگهداری نسبت به روز اول، ۲/۱۷ درصد (کمتر از ۳/۲ درصد) که مقدار آن قابل تشخیص با چشم نمی‌باشد و بیانگر پایداری بتالائین‌ها در ماست طعم‌دار طی دوره نگهداری است. اوسز و همکاران (Oses *et al.*, 2009)، در فرمولاسیون بیسکوئیت با عصاره جدا شده از رنگدانه چغندر قرمز به کاهش اندیس روشنایی ناشی از افزودن این رنگدانه به نمونه‌های بیسکوئیت اشاره کرده است. راعی و همکاران (Raei *et al.*, 2017)، میکروکپسولاسیون عصاره سبز یونجه و استفاده از آن در پاستیل بررسی کردند. تأثیر میکروکپسولاسیون را بر پارامترهای رنگی عصاره و پاستیل معنی‌دار دانسته‌اند که باعث افزایش هر سه شاخص رنگی L^*، a^* وb^* شده است. چاروان و همکاران (Charoen *et al.*, 2015)، در گزارشی که از آنالیز پارامترهای رنگی پاستیل حاوی عصاره‌ی زرد میوه‌ی گواوا ارائه دادند، با افزایش میزان عصاره افزوده شده به نمونه‌های پاستیل هر سه شاخص رنگی L^*، a^* وb^* کاهش یافته بود ولی از نظر دو شاخص رنگی L^* و b^* اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها نبوده و از نظر شاخص a^* اختلاف بین نمونه‌های پاستیل معنی‌دار بود. محمدی شندی و زمردی (Mohammadi Shendi & Zomorodi, 2018)، تأثیر شیره خرما و پکتین بر ویژگی‌های رنگی پاستیل میوه‌ای بر پایه موز گزارش کردند، افزایش شیره خرما موجب افزایش میزان قرمزی و کاهش میزان روشنایی در نمونه‌های پاستیل گردید که به تیره بودن رنگ شیره خرما نسبت داده شد. توکلی‌پور و همکاران (Tavakolipour *et al.*, 2013) در بررسی تأثیر جایگزینی شیره خرما و هیدروکلوئیدهای ژلاتین و گوار بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ارگانولپتیکی پاستیل کیوی گزارش کردند، شیره خرما نیز منجر به کاهش شاخص L^* و افزایش میزان شاخص a^* گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

ارزیابی حسی

اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر ارزیابی حسی نمونه‌های پاستیل در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- اثر ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر ارزیابی حسی نمونه‌های پاستیل

Fig. 2. The effect of nano-encapsulation of red beetroot extract on sensory evaluation of gummy candies

اساساً اندازه‌گیری کیفیت یک فرآورده بر اساس اطلاعات دریافتی از پنج حس بینایی، شنوایی، بویایی، چشایی و لازمه ارزیابی حسی گفته می‌شود که این روش بهترین راه برای ارزیابی طعم و بافت در انواع غذاهای جدید به ویژه غذاهای ترکیبی (فرموله) در مراحل اولیه توسعه می‌باشد (Abbasi & Rahimi, 2007). همانگونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، امتیاز طعم و مزه نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد داشت ($p<0.05$). کمترین و بیشترین امتیاز طعم و مزه به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد می‌باشد. تیلور و همکاران (Taylor *et al*., 2001). نشان دادند زمان رهاسازی بیشترین مواد طعمی در بافت‌هایی با درجه سختی مختلف متفاوت می‌باشد. هر چه میان سختی بافت بیشتر باشد زمان رهاسازی مواد طعم‌زا دیرتر است درک طعم در سیستم‌های ژلی وابسته بافت و نوع عامل ژل‌کننده می‌باشد. ری‌نارد (Renard, 2006)، نیز در رابطه با ارتباط ساختار ژل، بافت آن و درک طعم اظهار داشته است که با کاهش سختی ژل شدت طعم درک شده افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در غذاهای ژله‌ای شده، عوامل ژل‌ساز با مواد معطر واکنش می‌نمایند و مانعی برای انتشار و نفوذ مواد معطر در فاز بخار ایجاد می‌کنند ژله‌های نرم‌تر توانایی رهاسازی مقادیر بیشتری از ترکیبات معطر را نسبت به ژله‌های سفت تر دارند (Boland *et al*., 2006). اختلاط مواد غذایی با بزاق نیز نقش بسیار مهمی در دریافت طعم داشته است که بافت مواد غذایی در این فرآیند نقش بسیار مهمی داشت. در واقع ورودی‌های چشایی (طعم و آروما) و بافت بر هم اثر گذاشتند و درک طعم بر درک سختی مؤثر بود (Renard *et al*., 2006). کولیاندریس و همکاران (Koliandris *et al*., 2008)، گزارش کردند که شدت درک طعم در محلول‌ها و ژل‌های هیدروکلوئیدی به رهاسازی عوامل ایجاد مزه وابسته است. فری و همکاران (Ferry *et al*., 2006)، بیان کردند محلول‌های تغلیظ شده نشاسته حاوی گرانول‌های متورم، در غلظت های بالا نسبت به سایر پلی‌ساکاریدها تأثیر کمتری در جلوگیری از بروز طعم داشتند و علت این مسئله را چنین بیان کردند که چنین نشاسته‌هایی به خوبی با بزاق مخلوط شده و در نتیجه رهاسازی سریعی در عوامل مزه به وقوع می‌پیوندد. حضور آنزیم آلفاآمیلاز در بزاق منجر به تجزیه نشاسته و کاهش ویسکوزیته آن شده و درک طعم بهتر صورت می‌گیرد. بولاند و همکاران (Boland *et al*., 2004)، طی پژوهشی بر روی ژل‌های ژلاتین، پکتین و نشاسته اظهار داشتند که رهاسازی طعم به‌طور معنی‌داری با بافت ژل در ارتباط است. ژل ژلاتین بدلیل ایجاد بافت سخت‌تر باعث رهایش کمتر مواد طعمی می‌شود. در مجموع این وقایع باعث کاهش امتیاز پذیرش‌کلی در نمونه‌های حاوی مقادیر بالای ژلاتین گردید.

همانگونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، امتیاز رنگ نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد داشت ($p<0.05$). کمترین و بیشترین امتیاز رنگ به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه حاوی

ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد می‌باشد. رنگ از جنبه‌های کیفی مهم در محصولات غذایی فرآوری نشده و فرآوری شده بود که همراه با طعم و بافت، نقش مهمی را در مقبولیت غذا کرد (Alhooei *et al.*, 2017). همانگونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، امتیاز بافت نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد داشت ($p<0.05$). کمترین و بیشترین امتیاز بافت به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد می باشد. اگرچه طعم و بو از مهمترین عوامل مؤثر بر کیفیت مواد غذایی محسوب می‌شوند، ولی اغلب مصرف‌کنندگان دلیل اصلی عدم رغبت به مصرف را مشکل بافتی فرآورده‌ها عنوان می‌کنند (Born, 2007). براساس این پژوهش مشخص شد نتایج مربوط به بررسی بافت نمونه به روش ارزیابی حسی و آنالیز پروفایل بافت به روش دستگاهی روند مشابهی نشان دادند و این حاکی از آن است که نتایج به روش دستگاهی به خوبی بیانگر ویژگی‌های بافتی نمونه‌های تولیدی است. در اغلب تحقیقات همبستگی خوبی داده‌های حسی دستگاهی حاصل از ارزیابی بافت مشاهده شده است (DiMonaco *et al.*, 2008). هالوود (Hollowood *et al.*, 2002)، بیان کرد که ورودی‌های چشایی (طعم و آروما) و بافت بر هم اثر می‌گذارند و درک سفتی بر طعم مؤثر است. وی اشاره نمود که با افزایش سختی بافت ژل، طعم درک شده کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، زمانی‌که ارزیاب سفتی بافت را درک می‌کند، از حس و درک شیرینی و آروما غفلت می‌کند.

پذیرش‌کلی بیانگر احساس کلی داوران نسبت به نمونه مورد بررسی است. عوامل بسیاری همچون رنگ، عطر، طعم و مزه حتی بسته‌بندی محصول در پذیرش نهایی محصول نقش مهمی دارد. همانگونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، امتیاز پذیرش‌کلی نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد داشت ($p<0.05$). کمترین و بیشترین امتیاز پذیرش‌کلی به‌ترتیب مربوط به نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد و نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد می‌باشد. بافت و خواص فیزیکی غذا بر طعم و پذیرش‌کلی آن تأثیرگذار می‌باشد، چرا که بافت تا حدودی می‌تواند مقدار و سرعتی را که ماده طعم را به جوانه‌های چشایی می‌رسد کنترل کند (Setser & Brannan, 2003).

غیاثی و همکاران (Ghyasi *et al.*, 2012)، فرمولاسیون ماست طعم‌دار میوه‌ای قالبی با استفاده از رنگدانه‌های طبیعی و ویژگی‌های آن را بررسی کردند و در مورد پذیرش‌کلی محصول به این نتیجه رسیدند که افزودن ۶ و ۸ درصد طعم و مزه توت‌فرنگی، موجب افزایش معنی‌دار پذیرش‌کلی ماست شد البته این افزایش پذیرش‌کلی برای ماست‌هایی که حاوی مقادیر مختلف عصاره چغندر قرمز بودند مشاهده شد که بیانگر تأثیر متقابل رنگ و طعم و مزه بر همدیگر بود و موجب شد تا نمونه‌های بدون عصاره چغندر قرمز با افزودن طعم و مزه توت‌فرنگی، پذیرش کلی کمتری را نشان دهند. این امر، اهمیت استفاده از رنگدانه‌ها در تهیه ماست طعم‌دار را نشان داد. گلدفیلد و اپستاین (Goldfield & Epstein, 2002) طی تحقیقاتی نشان دادند که تنقلات بر پایه میوه و سبزی پذیرش و جذابیت بالایی از سوی مصرف‌کنندگان دارند. سهولت تهیه و مصرف این تنقلات و کیفیت بالای خوراکی به لحاظ بهداشتی و ارزش تغذیه‌ای، نسبت به سایر تنقلات از جمله آنهایی که حاوی افزودنی‌های مصنوعی می‌باشند، از مهمترین دلایل پذیرش بالای این گروه از مواد غذایی است.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز بر پایه بتالائین با استفاده از روش توده‌ای‌سازی مرکب در پاستیل بود. نتایج نشان داد که، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان فعالیت آب به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد است ($p<0.05$) اما میزان رطوبت، اسیدیته و بریکس نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز میزان فعالیت آب به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد بود ($p<0.05$). در طول مدت نگهداری ۲۸ روز نشان داد، نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱/۵ درصد میزان بازدارندگی به طور معنی‌داری بیشتر از سایر نمونه‌ها است ($p<0.05$). نتایج آزمون بافت‌سنجی نشان داد، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز نسبت به نمونه شاهد میزان سختی، چسبندگی و قابلیت جویدن کاهش معنی‌داری دارد ($p<0.05$) اما میزان پیوستگی افزایش معنی داری نشان داد ($p<0.05$). بررسی پارامترهای رنگی نمونه‌های پاستیل نیز نشان داد که نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز باعث کاهش L^* و b^* و افزایش a^* نمونه‌های پاستیل شده است. همچنین در ارزیابی حسی که شامل بافت، طعم و پذیرش کلی است، نمونه حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد بهترین نمونه انتخاب گردید. به‌طور کلی، نمونه‌های حاوی ریزپوشانی عصاره چغندر قرمز ۱ درصد و نمونه ۱/۵ درصد به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین امتیاز را در پذیرش‌کلی توسط ارزیابان کسب کردند. براساس یافته‌های حاصل از این تحقیق افزودن ۱ درصد عصاره چغندر قرمز به فرمولاسیون پاستیل توصیه می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

میزان مشارکت نویسندگان

عاطفه قورچی: انجام آزمایشات، تحقیق و بررسی، مدیریت داده ها، نوشتن پیش‌نویس اصلی، **اکرم آریان‌فر:** مدیریت داده‌ها، مدیریت پروژه، نظارت، **وحید حکیم‌زاده :** نظارت، **سارا ناجی طبسی:** مدیریت پروژه، نظارت.

منابع تأمین مالی

این مقاله از رساله دکتری خانم عاطفه قورچی بدون حمایت مالی ارائه شده است.
.

References

1. Alhooei, D., Salami, M., & Moslehi Shad, M. (2017). The investigation of the synergistic effect of natural pigments on the antioxidant properties in food industries. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, *67*(14), 53-62. https://sid.ir/paper/71622/fa
2. Azadmard Dimerchi, P. ,& Emami, Sh. (2012). *Nanoencapsulation of bioactive compounds in food systems*. Amidi Publications. First Edition.
3. Amjadi, S., Ghorbani, M., Hamishekar, H., & Roufegarinejad, L. (2018). Improvement in the stability of betanin by liposomal nanocarriers: its application in gummy candy as a food model. *Food Chemistry*, *256*, 156-162. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.114
4. Azeredo, H. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability–a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *44*(12), 2365-2376. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x
5. Abbasi, S., & Rahimi, S., (2007). Introduction of an unknown local plant gum: Persian gum (zedu gum). *Flour and Food Industry Magazine*, *4*, 42-51. (In Persian)
6. Appelqvist, I.A.M., & Debet, M.R.M., (1997). Starch-biopolymer interactions - A review. *Food Reviews International*, *13*(2), 163-224. https://doi.org/10.1080/87559129709541105
7. Abd Karim, A., Sulebele, G.A., Azhar, M., & Ping, C.Y. (1999). Effect of Carrageenan on yield and properties of Tofu. *Food Chemistry*, *66*(2), 159-165. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00258-1
8. Bakry, A.M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M.Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *15*(1), 143-182. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179
9. Born, M. (2007). Food rheology, food texture and viscosity, concept and measurement, translated by Abbasi, S., Marz Danesh Publishing, Tehran, pages 7, 240,241.
10. Boland, A., Delahunty, M., & Van Ruth, M. (2006). Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavour release and perception. *Food Chemistry*, *96*(3), 452–460. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.027
11. Boland, A.B., Buhr, K., Giannouli, P., & Van Ruth, S.M. (2004). Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavour compounds from model gel systems. *Food Chemistry*, *86*(3), 401-411. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.015
12. Charoen, R., Savedboworn, W., Phuditcharnchnakun, S., & Khuntaweetap, T. (2015). Development of antioxidant gummy jelly candy supplemented with psidium guajava leaf extract. *King mongkut's university of Technology North Bangkok International Journal of Applied Science & Technology*, *8*(2), 145-151. https://doi.org/10.14416/j.ijast.2015.02.002
13. Czapski, J., Mikolajczyk, K., & Kaczmarek, M. (2009). Relationship between antioxidant capacity of red beet juice and content of its betalain pigment. *Polish Journal of Food & Nutrition sciences*, *59*(2), 119 122.
14. Chinachoti, P. (1995). Carbohydrates: functionality in food. *American Journal of Clinical Nutrition*, *61*, 922-929. https://doi.org/10.1093/ajcn/61.4.922s
15. Cardoso- Ugarte, G.A., Sosa- Morales, M. E., Ballard, T., Liceaga, A., & San Martin- Gonzalez, M.F. (2014). Microwave- assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris). LWT- Food Science and Technology*, *59*(1), 276-282. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.025
16. Chen, Y., Xie, M.Y., Nie, S.P., Li, C., & Wang, Y.X. (2008). Purification, composition analysis and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of Ganodermaatrum. *Food Chemistry*, *107*(1), 231–241. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.021
17. DiMonaco, R., Cavellam, S., & Masi, P. (2008). Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measuremens. *Journal Of Texture Studies*, *39*, 129-149. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00134.x
18. Ergun, R., Lietha, R., & Hartel, R.W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in food Science and Nutrition*, *50*, 162-192. https://doi.org/10.1080/10408390802248833

19. Farhanaki, A., Majzoubi, M., & Mesbahi, G. (2018). Properties and uses of hydrocolloids in food and medicine: gelatin, katira, gum arabic, starch, modified starch and pectin. Iran Science and Agriculture Publishing House, Tehran.
20. Fox, P., Guinee, T., Cogan, M., & Mcsweeney, P. (2000). *Fundamentals of cheese science*. Aspen publication.
21. Fathi, H. (1992). World Apple Market. *World Goods Market, 21*, 20-15.
22. Fatemi, H. (2005). *Food chemistry*. Tehran publishing company, 333-335.
23. Fathi-Achachlouei, B., Shaddel, R., Hesari, J., Azadmard-Damirchi, S., & Akbari-Alavijeh, S. (2018). A novel approach for encapsulation of black raspberry anthocyanins by complex coacervation method using gelatin and gum Arabic as wall materials. *Journal of Food Science and Technology*, *15*(82), 335-344. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.024
24. Ferry, A.L., Hort, J., Mitchell, J.R., Cook, D.J., Lagarrigue, S., & Valles Pamies, B. (2006). Viscosity and flavor perception: Why is starch different from hydrocolloids? *Food Hydrocolloids*, *20*(6), 855-862. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.08.008
25. Goldfield, S., & Epstein, L. (2002). Can fruits and vegetables and activities substitute for snack foods?. *Health Psychology*, *21*, 299-303. https://doi.org/10.1037/0278-6133.21.3.299
26. Goldstein, A.M., Alter, E.N., & Seaman, J.K. (1973). Guar gum. In: whistler RL, editor, Industrial gums, 2nd edition. *Newyork: Academicl Press*: 303 – 321. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-746252-3.50019-8
27. Guine, R.P.F., & Joao Barroca, M. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, *90*(1), 58-63. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.003
28. Ghasempour, Z., Alizadeh, M., & Bari, M.R. (2012). Optimisation of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. *International Journal of Dairy Technology*, *65*, 118-125. https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00740.x
29. Ghanbarzadeh, B., Espern, V., & Hosseini, S.E. (2010). The effects of pectin on some physical and sensory properties of Tofu (soya curd) produced by using $CaCl_2$ and GDL Coagulants. *Iranian Food Science and Technology*, *9*, 136-144.
30. Ghyasi, H., Maghsoudlou, Y., Kommeiri, M., & Sadeghi Mahoonak, A. (2012). Fruit flavored set yogurt formulation with natural pigment and investigation of its properties. *Innovation in Food Science and Technology*, *4*(2 (12)), 1-9.
31. Hani, N.M., Romli, S.R., & Ahmad, M. (2015). Influences of red pitaya fruit puree & gelling agents on the physico, mechanical properties & quality changes of gummy confections. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*(2), 331-339. https://doi.org/10.1111/ijfs.12638
32. Hansson, A., Andersson, J., & Leufven, A. (2001). The effect of sugars and pectin on flavor release from a softe drink- related model system, *Food Chemistry*, *72*, 363-368. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00243-0
33. Hernández, M.J., Durán, L., & Costell, E. (1999). Influence of composition on mechanical properties of strawberry gels, compression test and texture profile analysis. *Food Science and Technology International*, *5*(1), 79-87. https://doi.org/10.1177/108201329900500108
34. Hollowood, T.A., Linforth, R.S.T., & Taylor A.J. (2002). The effect of viscosity on the perception of flavor. *Chemical Senses*, *27*, 583-591. https://doi.org/10.1093/chemse/27.7.583
35. Iran National Standards Organization. (2006). Milk and milk products— Determination of titrable acidity and value pH— No. 2852. file:///C:/Users/informaticiran/Downloads/2852-1401.pdf
36. Iran National Standards Organization. (2017). Jelly products—Specifications and test methods No. 2682. file:///C:/Users/informaticiran/Downloads/2682-1402.pdf
37. Kazemi Deliri, A. (1994). Preparation of gelatin from animal waste. A collection of Sharif's research articles. *Biochemistry Center, Sharif University of Technology Publications*. 68-60.
38. Kusano Bucalen Ferrari, C., Percario, S., Carlos CostaBaptista Silva, J., & Aparecida Ferraz da Silva Torres, E., (2016). An apple plus a brazil nut a day keeps the doctors away: antioxidant capasity of foods and their health benefits. *Current Pharmaceutical Design*, *22*(2), 189-195. https://doi.org/10.2174/1381612822666151117122715
39. Kealy, T. (2006), Application of liguid and solid rheological technologies to the textural characterization of semi-solid food. *Food Reserch International*, *39*, 265-276. https://doi.org/ 10.1016/j.foodres.2005.07.016
40. Karazhiyan, H. (2010). Study of polyelectrolyte nature of *Lepidium sativum* hydrocolloid extract. *Iranian Food Science and Technology Association*, *6*(1), 37-43.
41. Khalilian, S., Shahidi, F., Elahi, M., Mehebbi, M., Sarmad, M., & Roshan Nejad, M. (2011). The effect of different concentrations of pectin and xanthan gum on sensory properties and water activity of the fruit pastille based on cantaloupe puree. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *7*(3), 200-209.
42. Khosrow Shahi, A. (1997). *Chemistry of food analysis*, Urmia University Press, page 314.

43. Koliandris, A., Lee, A., Ferry, A.I., Hill, S., & Mitchell, J. (2008). Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavour release. *Food Hydrocolloids*, *22*, 623-630. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.02.009
44. Khazaei, E., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., & Mohebbi, M. (2014). Kivi Pastille formulation and effect of different concentrations of agar and Guaron moisture content, textural and sensory properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *10*(1), 27-37.
45. Lau, M.H., Tang, J., & Paulson, A.T. (2000). Texture profile and turbidity of gellan-gelatin mixed gels. *Food Research International*, *33*, 665-671. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00111-3
46. Lewicki, P.P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. *A review. Journal of Food Engineering*, *61*, 483-495. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00219-X
47. Li, C., Wang, J., Shi, J., Huang, X., Peng, Q., & Xue, F., (2015). Encapsulation of tomato oleoresin using soy protein isolategum aracia conjugates as emulsifier and coating materials. *Food Hydrocolloids*, *45*, 301-308. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.022
48. Mohammadi Shendi, H., & Zomorodi, Sh. (2018). The effect of date syrup and pectin gum on the color, textural and sensory properties of fruit pastilles based on bananas. *Journal of Food Research*, *28*(4), 45-55. https://foodresearch.tabrizu.ac.ir/article_8412_b73673d906266947455d0ec5ca660269.pdf?lang=en
49. Mishra, K., Ojha, H., & Chaudhury, N.K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, *130*(4), 1036-1043 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.127
50. Neelwarne, B., & Rudrappa, T. (2013). Peroxidases and other enzymes from red beet hairy roots. In Red Beet Biotechnology (pp. 283-333). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3458-0_12
51. Oses, J., Fabregat- Vazquez, M., Pedroza-Islas, R., Tomas, S.A., Cruz- Orea, A., & Mate, J.I., (2009). Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. *Journal of Food Engineering*, *92*(1), 56-62. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.029
52. Pathare, P.B., Opara, U.L., & Al-Said, F.A.J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(1), 36-60. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9
53. Pai, D.A., Vangala, V.R., Ng, J.W., Ng, W.K., & Tan, R.B. (2015). Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization. *Journal of Food Engineering*, *161*, 68-74. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.037
54. Piotr P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, *61*, 483–495. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00219-X
55. Piazza, L., & Gigli, J. (2009). Multi-scale estimation of water-soluble diffusivity in polysaccharide gels. Universita di milano, Italy.
56. Renard, D., Van De Velde, F., & Vischers, R.W. (2006). The gap between food gel structure, texture and perception. *Food Hydrocolloids*, *20*, 423-431. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.10.014
57. Raei, A., Yasini Ardakani, S.A., & Daneshi, M. (2017). Microencapsulation of the green pigment of alfalfa and its applications on heated food. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(5), e12529. https://doi.org/10.1111/jfpe.12529
58. Sanchez- Chavez, W., Cortez- Arredondo, J., Solano- Cornejo, M., & Vidaurre- Ruiz, J., (2015). Kinetics of thermal degradation of betacyanins, betaxantins and vitamin C in a juice- based drink beet (*Beta vulgaris*) and honey. *Scientia Agropecuaria*, *6*(2), 111-118. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.03
59. Sanchez-Moreno, C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Journal of Food Science and Technology International*, *8*, 121-137. https://doi.org/10.1177/1082013202008003770
60. Speiser, P. (1976). Microencapsulation by coacervation, spray encapsulation and nanoencapsulation. In: J.R. Nixon (Ed.), Microencapsulation. New York: Marcel Dekker. 1–11.
61. Szczesniak, A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, *13*(4), 215-225. https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8
62. Shahidi, S., Khalilian, M., Mohebbi, M., & Fathi, M. (2011). Apple pastille formulation and evaluation of different formula based on sensory properties and water activity. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *7*(2), 129-136.
63. Sanz, T., Salvador, A., Jimenez, A., & Fiszman, S.M. (2008). Yogurt enrichment with functional asparagus fibre. Effect of fibre extraction method on rheological properties, colour, and sensory acceptance. *European Food Research and Technology*, *227*(5), 1515-1521. https://doi.org/10.1007/s00217-008-0874-2
64. Sagalowicz, L., & Leser, M.E. (2010). Delivery systems for liquid food products. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, *15*(1-2), 61-72. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2009.12.003
65. Setser, C.S., & Brannan, G.D. (2003). *Carbohydrates/Sensory properties*. Elsevier Science Ltd.

66. Tavakolipour, H., Kalbasi Ashtari, A., & Hosseini, B. (2013). Determination of rheological properties of grape molasses. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, *4*(10), 129-137. http://fsct.modares.ac.ir/article-7-114-en.html
67. Taylor, A.J., Besnard, S., Puaud, M., & Linforth, R.S.T. (2001). In vivo measurement of flavour release from mixed phase gels. *Biomolecular Engineering*, *17*, 143–150. https://doi.org/10.1016/S1389-0344(01)00073-9
68. Vulic, J., Canadanovic-Bruneta, J., Cetkovic, G., Tumbasa, V., Djilasa, S., Cetojevic-Siminb, D., & Canadanovic, V. (2012). Antioxidant and cell growth activities of beet root pomace extracts. *Journarl of Funtioanal Foods*, *4*, 670-678. https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.04.008
69. Ward, A.G., & Courts, A. (1977). The Science and Technology of Gelatin. New York: Academic Press. ISBN 0127350500, pp: 1-27.
70. Yoza, K., Amanokura, N., Ono, Y., Akao, T., Shinmori, H., Takeuchi, M., & Reinhoudt, D.N. (1999). Sugar-integrated gelators of organic solvents- their remarkable diversity in gelation ability and aggregate structure. *Chemistry- Weinheim- European Journal*, *5*, 2722-2729. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-3765(19990903)5:9<2722::aid-chem2722>3.0.co;2-n
71. Yousefi, S. (2018). Optimization of spray drying process to produce microencapsulated powders of functional extract obtained from red-beet. *Journal of Food Technology and Nutrition*, *15*(2(58), 31-44. http://jftn.srbiau.ac.ir/article_11639.htm
72. Yolmeh, M., Khomeiri, M., Ghorbani, M., Ghaemi, E.A., & Ramezanpour, S.S. (2018). Peach pastille formulation containing carotenoid pigment extracted from *Micrococcus roseus* and optimization of its physicochemical and textural properties. *Food Science and Technology*, *73*(14), 241-254. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.12.010
73. Zare, F., Boye, J.I., Orsat, V., Champagne, C., & Simpson, B.K. (2011). Microbial, physical and sensory properties of yogurt supplemented with lentil flour. *Food Research International*, *44*(8), 2482-2488. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.002